

University of Groningen

Strangeness in dense hadronic matter

Penninga, Teake Dirk

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2007

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Penninga, T. D. (2007). *Strangeness in dense hadronic matter*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. [s.n.].

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Hoofdstuk 7

Nederlandse samenvatting

Van alle objecten in het heelal behoren neutronensterren wel tot de meest fascinerende. Nauwelijks zichtbaar te maken met 's werelds grootste optische telescopen bewegen ze zich door het heelal. Met een straal van rond de tien kilometer maar met een massa groter dan onze eigen zon vormen ze een supercompact geheel. De dichtheid is zo groot dat het gewicht van de totale wereldbevolking is samengepropt op een theelepeltje. Niet alleen de feitelijke eigenschappen van neutronensterren zijn indrukwekkend, maar ook hun ontstaan is spectaculair. Als een ster aan het eind van zijn leven is, dat wil zeggen als de brandstof op is, kan de ster de zwaartekracht niet langer trotseren en stort ineen. Gedurende deze ineenstorting flakkert de ster nog een keer spectaculair op (*supernova*). Een keer licht hij zo sterk op dat hij helderder schijnt dan een heel sterrenstelsel. De buitenste lagen worden met grote kracht weg gestuwd. Uiteindelijk blijft een koude compacte kern over, de *neutronenster*.

Omdat een neutronenster zo'n grote dichtheid heeft, is de afstand tussen de deeltjes waaruit de ster bestaat erg klein. Bij een dergelijke afstand wordt de *sterke kernkracht* belangrijk. Al vele jaren wordt er onderzoek verricht naar deze kracht. Zoals de naam al doet vermoeden is deze kracht heel sterk, veel sterker dan bijvoorbeeld de zwaartekracht en de elektromagnetische kracht. Enkele globale kenmerken zijn verder dat hij op hele korte afstanden zwaar afstotend is en voor afstanden groter dan $1.5\text{ fm} = 0.0000000000000015$ meter heel snel in sterkte afneemt. Bovendien bevat de sterke kernkracht een *tensorcomponent*. Dit houdt in dat de sterke kernkracht niet alleen van de afstand tussen twee deeltjes afhangt maar ook van hun onderlinge spin-orientatie. In tegenstelling tot de zwaartekracht is er geen mooie formule die de sterke kernkracht exact beschrijft. Om toch inzicht te krijgen in deze kracht laat men in versnellers deeltjes met grote snelheden op elkaar botsen. De resultaten van deze experimenten geven informatie

om de sterke kernkracht te beschrijven. Al deze experimenten gecombineerd met theoretisch inzicht hebben geleid tot verschillende modellen die de sterke kernkracht beschrijven. In hoofdstuk 4 worden een aantal van deze modellen (*=potentials*) beschreven die door de Nijmegen groep zijn gemaakt.

De sterke kernkracht tussen *neutronen* en *protonen* wordt goed beschreven door deze modellen. Neutronen en protonen zijn de elementaire bouwstenen van een atoomkern. Met name doordat neutronen en protonen gemakkelijk zijn te produceren zijn er veel botsingsexperimenten mee gedaan. Nu bestaan er ook wat meer exotische deeltjes. Deze zogenaamde *hyperonen* kunnen gezien worden als de zwaardere broertjes en zusjes van de neutronen en protonen. Omdat ze zwaarder zijn, zijn ze niet stabiel en vervallen ze bij gewone dichtheid snel naar protonen en neutronen. Dit heeft tot gevolg dat er veel minder botsingsexperimenten mee zijn gedaan en de kracht tussen de hyperonen, neutronen en protonen onderling veel minder goed vastligt.

Zoals de naam neutronenster doet vermoeden bestaat deze ster voornamelijk uit neutronen. Daarnaast bevat een neutronenster ook nog een hoeveelheid protonen en *elektronen*. Elektronen vormen samen met de neutronen en protonen de elementaire bouwstenen van het atoom. De neutronen en de protonen in de atoomkern en de elektronen daar omheen. Alle materie op aarde bestaat uit atomen. Mits de dichtheid maar hoog genoeg is en de energie maar genoeg stijgt zou een neutronenster ook nog hyperonen kunnen bevatten. Als eerste is in dit proefschrift de samenstelling van *dichte materie* voor verschillende dichtheden bepaald. Dichte materie is materie met zo'n grote dichtheid dat alle atomen zijn kapot gemaakt en dat alleen de losse bouwstenen overblijven. Omdat dichte materie uit heel veel verschillende losse deeltjes bestaat, is het ondoenlijk om exact de eigenschappen van alle deeltjes uit te rekenen. In de loop der jaren zijn er verschillende berekeningsmethoden ontwikkeld die in combinatie met een model voor de kracht tussen de deeltjes de samenstelling van dichte materie kunnen berekenen. Helaas is het niet altijd mogelijk om een model los te zien van de berekeningsmethode. En niet alle berekeningsmethoden zijn in staat om alle complexiteit van de verschillende modellen mee te nemen. Met name de tensorcomponent is problematisch. In dit proefschrift wordt de zogenaamde Lowest Order Constrained Variational (LOCV) berekeningsmethode gebruikt. Deze methode is in het begin van de jaren zeventig door Panharipande [49] ontwikkeld. Deze methode werkte goed voor de modellen van die tijd. Panharipande heeft deze methode gebruikt samen met de *Reid potentiaal* om de samenstelling van dichte materie inclusief hyperonen uit te rekenen zonder rekening te houden met de tensorcomponent van de sterke kernkracht.

In dit proefschrift heb ik de LOCV berekeningsmethode gebruikt samen met een aantal moderne Nijmegen potentials om de samenstelling van dichte materie inclusief hyperonen te berekenen. Dit blijkt nogal problematisch te zijn omdat de moderne Nijmegen potentials een minder afstotende sterke kernkracht geven voor hele kleine afstanden dan de Reid potentiaal. Dit heeft tot gevolg dat bij een (relatieve) hoge dichtheid de totale

energie van de dichte materie laag is. Daardoor verschijnen er geen hyperonen. Sterker nog, wanneer de dichtheid ver genoeg stijgt, blijven er alleen maar neutronen over. De Nijmegen potentialen zijn helaas niet geschikt om in een LOCV berekening te gebruiken. In hoeverre dit aan de berekeningsmethode ligt of aan de potentiaal is moeilijk aan te geven. Met de Reid potentiaal inclusief de volledige tensorcomponent heb ik de samenstelling van dichte materie berekend.

Als de samenstelling van dichte materie bij verschillende dichtheden bekend is kan de *Equation of State* (EoS) de *toestandsvergelijking* worden berekend. De toestandsvergelijking geeft aan hoe de druk van een gas/vloeistof veranderd als functie van de energiedichtheid. Deze toestandsvergelijking in combinatie met de *centrale dichtheid* van de neutronenster (=dichtheid in het centrum van de neutronenster), bepalen de massa en straal van een neutronenster. Voor drie verschillende situaties heb ik de straal en massa van een neutronenster berekend. De eerste situatie is een neutronenster die volledig uit neutronen bestaat. De tweede situatie is een neutronenster die uit neutronen, protonen, elektronen en *muonen* bestaat. Een muon is het zwaardere broertje van het elektron. In de derde situatie staat een neutronenster centraal die naast neutronen, protonen, elektronen en muonen ook nog hyperonen bevat. In elk van de drie gevallen heb ik de maximummassa van de bijbehorende neutronenster uitgerekend. Deze zijn uitgedrukt in *zonsmassa's*. De massa van de zon is $2 \times 10^{30} = 2000000000000000000000000000000$ kilogram De respectievelijke massa's zijn 1.78, 2.40, 1.80.

Jarenlang waren de massa's van alle bekende neutronensterren ongeveer 1.4 zonsmassa's. Daarom is lang gedacht dat de maximum massa van een neutronenster ook 1.4 is. Meer recentelijk zijn er echter neutronensterren gevonden waarvan de massa op 1.8 of zelfs 2.1 zonsmassa wordt geschat. Dit is in overeenstemming met de resultaten van de berekeningen in dit proefschrift.

